

## Wurzelentwicklung und -umsatz von Winterweizen

H. Schmid<sup>1</sup>, R. Gutser<sup>1</sup> und N. Claassen<sup>2</sup>

### Einleitung

Im Rahmen des FAM (Forschungsverbund Agrarökosysteme München) hat das Teilprojekt Wurzelumsatz die Aufgabe Wurzelumsatz und Verteilung der Wurzelsysteme in ihrer räumlichen und zeitlichen Variabilität zu erfassen und in Abhängigkeit der Wachstumsbedingungen innerhalb des ökologischen und integrierten Anbausystems zu beschreiben.

Die maßgebliche Bedeutung von Wurzeln für die Pflanze liegt neben der Verankerung in der Aufnahme von Wasser und Nährstoffen. Je nach Verteilung und Tiefgang beeinflussen sie hierdurch auch die Wasser- und Nährstoffflüsse und durch Exsudation den C-Haushalt im Boden. Auch nach ihrem Absterben stellen sie eine wichtige C-Quelle für das Bodenleben dar, wobei es bereits während des Pflanzenwachstums zur teilweisen Umsetzung des Wurzelsystems kommen kann (SAUERBECK und JOHNEN, 1976).

### Material und Methoden

Das Untersuchungsgebiet liegt auf der Versuchsstation Kloostergut Scheyern im Tertiärhügelland, ca. 40 km nördlich von München. Die vorherrschenden Bodentypen sind Braunerden aus geringmächtigen Lößauflagen, flachgründige Braunerden mit sandig-kiesigem Unterboden sowie kleinflächig Tonböden. Um der großen Bodenheterogenität und ihrem Einfluß auf das Wurzelwachstum auszuweichen (STOFFEL et al., 1995) wurde das Wurzelwachstum auf weitgehend ertragshomogenen Flächen bestimmt. In beiden Bewirtschaftungssystemen (ökologisch und integriert) wurden 1995 und 1996 jeweils zwei ertragshomogene Flächen ausgewählt, die sich auch bezüglich der Bodentextur deutlich unterscheiden (siehe auch Texturangaben in Tab. 2).

In beiden Jahren entsprachen die im Beprobungszeitraum von Anfang Mai bis Ende Juli gemessenen Niederschläge mit ca. 270 mm dem langjährigen Mittel.

Die Beprobung des Wurzelsystems erfolgte zwischen Ende April und Ende Juli zu 6 (1995) bzw. 5 (1996) Terminen nach der Bohrkernmethode (BÖHM, 1979) in 3-4facher Wiederholung. Die Wurzeln aller Bodentiefen wurden ausgewaschen und die Wurzellängen nach NEWMAN (1966) bestimmt. Zusätzlich wurde der Zuwachs der Wurzeln in 0-30 cm Tiefe mit der Ingrowth-Cores-Methode ermittelt. Hierzu wurden zu Vegetationsbeginn PVC-Rohre, umgeben mit Gazestrümpfe, in den Boden eingesetzt. In der Annahme, daß die Lebensdauer der Wurzeln länger als 3 Wochen sei, wurden in 2-3 wöchigen Intervallen diese Strümpfe mit wurzelfrei gesiebten Boden, der aus den gleichen Parzellen zu Vegetationsbeginn entnommen wurde und im Wasser- und Nmin-Gehalt in etwa dem des umgebenden Restbodens entsprach, befüllt und die PVC-Rohre entfernt. Für diesen Zeitraum erhält man den Brutto-Wurzelzuwachs in den Wurzelstrümpfen. Begleitende methodische Untersuchungen bei Weizen und Kartoffeln, mit der Bohrkern- als auch Profilwandmethode, lassen einen Wundreizeffekt ausschließen und die Ingrowth-Cores-Methode zur Ermittlung des Wurzelzuwachses als geeignet erscheinen.

<sup>1</sup> Lehrstuhl für Pflanzenernährung, TU München, D-85350 Freising-Weihenstephan

<sup>2</sup> Institut für Agrikulturchemie, Georg-August-Universität, von-Siebold-Str. 6, D-37075 Göttingen

## Ergebnisse und Diskussion

### Oberirdische Biomasse

Auf den beiden Lehmstandorten verlief im Jahr 1995 die Entwicklung der oberirdischen Biomasse bis zur Blüte (Mitte Juni) parallel (Abb. 1). Während auf dem ökologisch bewirtschafteten Lehm die Wachstumskurve im weiteren Vegetationsverlauf bedingt durch die standortspezifisch geringere N-Nachlieferung abflachte, dürfte auf dem integriert bewirtschafteten Sand infolge der N-Düngung das standörtliche Ertragspotential wohl weitgehend ausgeschöpft worden sein. Auf dem ökologisch bewirtschafteten Sand führten geringere N-Nachlieferung und ungünstigeres Wasserangebot zu einer geringeren Biomasseproduktion.

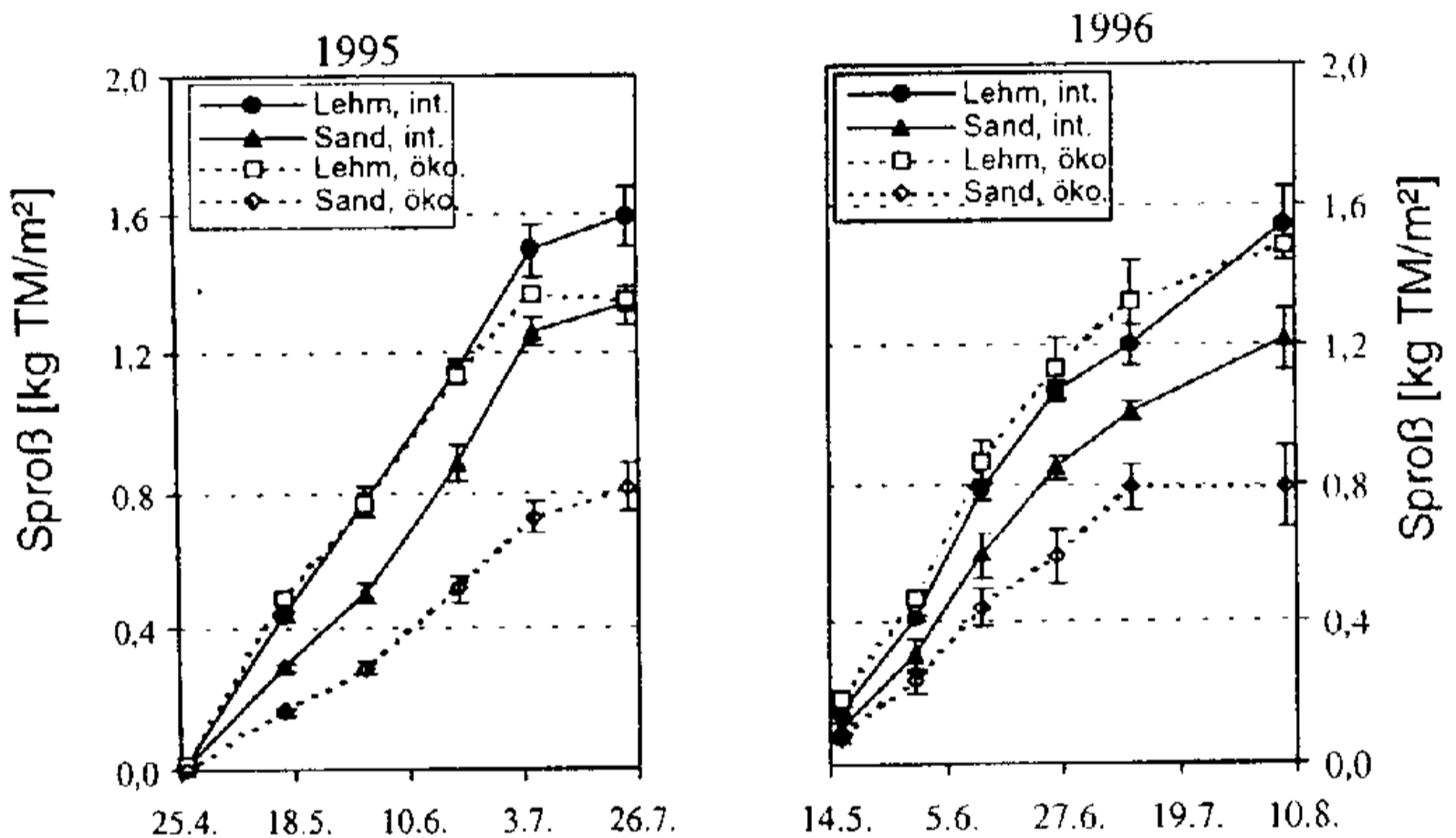


Abb. 1: Sproßproduktion von Winterweizen (Mittelwerte mit Standardabweichungen) in verschiedenen Anbausystemen und auf unterschiedlich texturierten Böden

Aufgrund der hohen Bodenheterogenität und der folglich auch starken Heterogenität der Erträge wurde 1996 auf der Fläche "integriert" eine teilschlagspezifische N-Düngung durchgeführt. Die Niedrigertragsflächen, von der Textur her sandige Böden, erhielten auf Grund der Ertragserwartung weniger Stickstoff (120 kg N/ha) als die i. d. R. lehmigen Böden der Hohertragsflächen (160 kg N/ha). Der Ertrag des integrierten Weizens auf Sand lag deutlich unter dem des Lehm Bodens, so daß sich daraus eine Bestätigung für die differenzierende N-Düngung ableiten läßt. Der Weizen auf den ökologisch bewirtschafteten Flächen brachte auf dem Lehm hohe, auf dem Sand, bedingt durch geringere N-Nachlieferung und ungünstigere Wasserbedingungen, niedrige Erträge.

Wohl als Folge der kürzeren Vegetationszeit (langer Winter) blieb die oberirdische Biomasseproduktion 1996 zu Vegetationsbeginn ca. 2-3 Wochen hinter der des vorhergehenden Jahres zurück. Bereits zum Ährenschieben (Anf. Juni) waren im oberirdischen Wachstumsverlauf zwischen den beiden Jahren keine Entwicklungsunterschiede mehr feststellbar.

### Durchwurzelungsintensität unter Winterweizen

Im Jahr 1995 unterschied sich die Durchwurzelungsdichte zwischen den Bewirtschaftungssystemen und den Bodenarten nur geringe. 1996 ließen sich allerdings deutliche Unterschiede in der Wurzellängendichte der obersten 15 cm auf den zwei Bewirtschaftungssystemen finden: im ökologischen Anbausystem waren die Durchwurzelungsdichten um 30-50 % kleiner als im integrierten (Tab. 1).

Tab. 1: Wurzellängendichte unter Winterweizen (Blüte) in verschiedenen Anbausystemen und auf unterschiedlich texturierten Böden im Jahr 1996  
(Mittelwerte mit Variationskoeffizienten in %)

Tiefe cm	Lehm, Int. cm * cm <sup>-3</sup>	Sand, Int. cm * cm <sup>-3</sup>	Lehm, Öko. cm * cm <sup>-3</sup>	Sand, Öko. cm * cm <sup>-3</sup>
0 - 15	17,9 (11)	22,2 (10)	12,1 (26)	10,8 (9)
15 - 30	6,7 (11)	7,5 (32)	5,7 (25)	4,6 (7)
30 - 45	3,7 (15)	4,0 (15)	2,9 (38)	1,8 (56)
45 - 60	3,7 (20)	3,4 (17)	3,2 (29)	1,6 (94)
60 - 90	2,1 (23)	1,2 (19)	2,0 (15)	0,2 (101)

Die zur Weizenblüte beprobten Dauermeßpunkte (DP) wiesen 1995 ebenfalls keine unterschiedliche Durchwurzelung der Krume auf (Tab. 2). Die Wurzellängen lagen zwischen 40 und 50 km/m<sup>2</sup>. Lediglich das Wurzelsystem des Weizens auf dem Pelosol (Koord. 130.200) war kleiner. Im darauffolgenden Jahr bestätigten die untersuchten DP's allerdings die zwischen den Anbausystemen festgestellten Durchwurzelungsunterschiede.

Tab. 2: Wurzellängen (Krume) von Winterweizen (Blüte) in verschiedenen Anbausystemen und auf unterschiedlich texturierten Böden im Tertiärhügelland  
(Mittelwerte mit Variationskoeffizienten in %)  
Bodendaten nach SCHEINOST et al. (1993)

	Standort	Bewirt.	Bodenart (Feinboden)	Ton %	Schluff %	Sand %	Skelett %	Wurzellänge km * m <sup>-2</sup>
1995	Lehm	Int.	uL	20	60	20	2	50,4 (7)
	Sand	Int.	IS	15	30	55	8	47,7 (16)
	Lehm	Öko.	slU	15	55	30	7	44,4 (15)
	Sand	Öko.	uS	5	15	80	32	39,9 (5)
	DP 260.180	Int.	uL	25	60	15	1	50,9 (14)
	270.210	Int.	uL	20	60	20	1	50,6 (8)
	190.170	Int.	usL	20	40	40	11	49,6 (9)
	280.050	Int.	uS	5	15	80	2	48,2 (6)
	335.240	Öko.	ulS	15	45	40	4	40,4 (6)
	130.180	Öko.	IS	10	25	65	16	46,3 (15)
	130.200	Öko.	utL	25	55	20	1	30,7 (6)
1996	Lehm	Int.	uL	22	50	28	7	37,0 (11)
	Sand	Int.	ulS	15	46	39	25	44,5 (15)
	Lehm	Öko.	usL	17	47	36	6	26,7 (14)
	Sand	Öko.	IS	9	20	71	35	23,1 (8)
	DP 230.180	Int.	uL	20	60	20	1	35,7 (5)
	160.220	Öko.	IS	16	33	51	12	23,7 (10)

Die (Netto-) Wurzellängen des Winterweizens änderten sich 1995 zwischen Schossen (Anf./Mitte Mai) und Teigreife kaum (Abb. 2). Nur der leicht unruhige Verlauf der Kurven deutet auf eine gewisse Dynamik im Wurzelwachstum hin. Die Wurzelsysteme der Pflanzen unterschieden sich in beiden Bewirtschaftungssystemen und auf beiden Bodenarten nur geringfügig (Öko. < Int., Sand < Lehm). Trotz weitgehend identischer Größe der (Netto-) Wurzelsysteme wurden mit der Ingrowth-Cores-Methode sehr deutliche Unterschiede im Wurzelzuwachs (Bruttoentwicklung: aufsummierter Wurzelzuwachs) ermittelt. Die Lehm- und Sandstandorte unterschieden sich deutlich, wobei der ökologisch bewirtschaftete Sand das größte Bruttowurzelsystem aufwies.

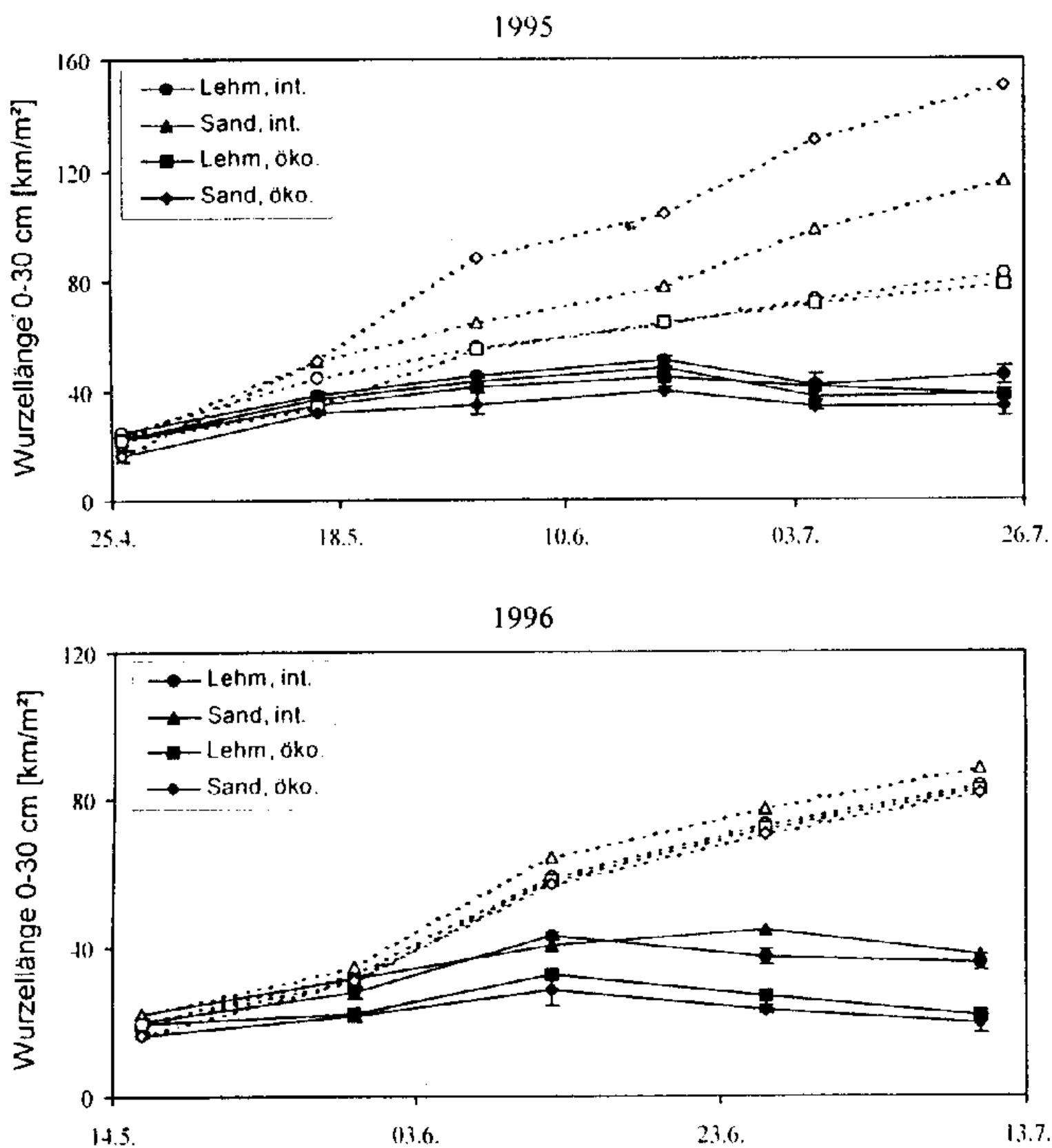


Abb. 2: Wurzelentwicklung (Mittelwerte mit Standardabweichungen) des Winterweizens 1995 und 1996 im Tertiärhügelland  
 durchgezogene Linie: Nettowurzelentwicklung  
 gestrichelte Linie: Bruttowurzelentwicklung

Die Nettowurzelentwicklung des Winterweizens zeigte 1996 deutliche Unterschiede zwischen den beiden Bewirtschaftungsformen. Zwischen Ende Mai (EC 41) bis Teigreife waren die Wurzelsysteme auf den ökologisch bewirtschafteten Flächen um ca. 30-50 % kleiner als auf den integriert bewirtschafteten. Die Bodenart wirkte sich nur wenig auf die Wurzellängen aus. Trotz dieser bewirtschaftungsbedingten Unterschiede in der Größe der (Netto-) Wurzelsysteme wiesen die Bruttowurzelsysteme keine Unterschiede auf.

Den höchsten Wurzelzuwachs erreichten die Pflanzen in Zeiträumen mit ungleichmäßiger Niederschlagsverteilung. Dieser Wechsel von starker Befeuchtung und fast vollständiger Austrocknung, der auf den Sandstandorten besonders ausgeprägt war, dürfte den Wurzelzuwachs auf den Sandböden besonders stark angeregt haben. Die ungleichmäßige Verteilung der Niederschläge war 1995 stärker ausgeprägt als 1996.

Die Wurzelsysteme der Pflanzen erreichten 1996 erst 3-4 Wochen später als 1995 im Oberboden eine Größe von ca. 20 km/m<sup>2</sup>. Während der Weizen im integrierten Anbausystem diesen durch die kürzere Vegetationszeit bedingten Rückstand bis zur Teigreife (im Netto- und z.T. Bruttowurzelsystem) weitgehend aufholte, blieben die Pflanzen des ökologischen Bewirtschaftungssystems bis zum Wachstumsende im Nettowurzelsystem zurück.

Aus der Differenz zwischen Brutto- und Nettowurzelmasse und der Versuchsdauer läßt sich errechnen, daß die Wurzelsysteme des Winterweizens im Jahr 1995 zwischen Ende Bestockung und Teigreife auf den Lehmstandorten alle 6 Wochen, auf dem Sand alle 3-4 Wochen erneuert wurden. Im Jahr 1996 erfolgte diese Erneuerung auf den integriert bewirtschafteten Flächen bereits alle 4 Wochen, auf den ökologisch bewirtschafteten sogar alle 2-3 Wochen. Der Wurzelumsatz verlief somit schneller als 1995. Hierbei wirkte sich anscheinend die durch den langen Winter verkürzte Vegetationszeit beschleunigend auf Wurzelumsatz und Bruttowachstum der Wurzeln aus. Diese Ergebnisse stimmen mit den von SAUERBECK und JOHNNEN (1976) ermittelten Angaben überein: das zur Teigreife gemessene Wurzelsystem muß um den Faktor 3-4 nach oben korrigiert werden, um Wurzelumsatz, Wurzelatmung sowie Exsudation in der Vegetation mit zu erfassen. Das Verhältnis zwischen den zur Teigreife ausgewaschenen Wurzeln (Nettowurzelsystem) und dem Wurzelabbau während der gesamten Versuchsdauer (Bruttowurzelsystem) betrug bei SAUERBECK und JOHNNEN (1976) 1:3, bei SWINNEN et al. (1995) 1:2. Aus den eigenen Ergebnissen ergibt sich ein Verhältnis zwischen Netto- und Bruttowurzelsystem von 1:2 bis 1:3,5. Allerdings sind hier nur die Wurzeln in der Krume berücksichtigt, die jedoch 75-90 % des Gesamtwurzelsystems ausmachen. Es ergibt sich somit eine gute Übereinstimmung mit diesen Autoren, auch wenn offen bleiben muß, ob der Wurzelumsatz im Unterboden dem in der Krume gleichzusetzen ist.

#### Kohlenstoffinput

Die insgesamt gebildeten Wurzeln (Bruttowurzelsystem) machen 1995 und 1996 auf den Lehmstandorten ca. 35 % der gebildeten Gesamttrockenmasse aus, auf den Sandstandorten etwa 45 % mit Ausnahme des ökologisch bewirtschafteten Sandes 1995 mit 65 % (Tab. 3).

Mit den abgestorbenen Wurzeln wird dem Boden eine erhebliche Menge organischer Substanz zugeführt. Aus dem Bruttowurzelzuwachs des Weizens und einem mittleren C-Gehalt der Wurzeln von 33,7 % in der Trockensubstanz (WEYKAM et al., 1995)

errechnet sich für 1995 ein C-Input durch die Wurzel (0-30 cm) von 260-425 g C m<sup>-2</sup>, für das Jahr 1996 von 220-270 g C m<sup>-2</sup>.

Tab. 3: Biomasseproduktion von Winterweizen bis zur Teigreife in verschiedenen Anbausystemen und auf unterschiedlich texturierten Böden

		Sproß		Wurzel	
		g TM * m <sup>-2</sup>		g C * m <sup>-2</sup>	
1995	Lehm. int.	1593	854	675	288
	Sand. int.	1336	1113	566	375
	Lehm. öko.	1354	774	574	261
	Sand. öko.	817	1261	346	425
1996	Lehm. int.	1197	776	507	264
	Sand. int.	1009	764	428	271
	Lehm. öko.	1318	630	559	222
	Sand. öko.	797	650	338	221

C-Sproß: 42,4 % in der TS

C-Wurzel: 33,7 % in der TS

SWINNEN et al. (1995) ermittelten bei Gerste und Weizen einen C-Input durch die Wurzel (Bruttowurzelsystem) von 52-94 g C m<sup>-2</sup>. Diese um ein vielfaches kleineren Werte sind damit zu erklären, daß auch der Input durch das Nettowurzelsystem mit 27-43 g C m<sup>-2</sup> deutlich kleiner ist als der in der vorliegenden Arbeit mit der Bohrkernmethode ermittelte C-Input (Nettowurzelsystem) zur Teigreife von 130-140 g C m<sup>-2</sup> (siehe auch Abb. 2). Für den ökologisch bewirtschafteten Weizen wurden 1996 lediglich 60 g C m<sup>-2</sup> gemessen. Worauf diese unterschiedlichen Größenordnungen im Nettowurzelsystem zurückzuführen sind kann hier nicht entschieden werden. Das Verhältnis zwischen Netto- und Bruttowurzelsystem ist aber, trotz unterschiedlicher Methoden, gleich.

### Schlußfolgerung

Die zwischen Ende Bestockung und Teigreife gebildeten Wurzeln machen bei Winterweizen mit 630-1260 g TM m<sup>-2</sup> 35-65 % der gebildeten Gesamttrockenmasse aus. Das Nettowurzelsystem (Bohrkernmethode) ergibt zur Teigreif lediglich 150-340 g TM m<sup>-2</sup>. Das Wurzelsystem wurde demnach bereits während der Vegetation 2-3 mal umgesetzt. Mit den abgestorbenen Wurzeln wird dem Boden eine erhebliche Menge organischer Substanz zugeführt: 220-425 g C m<sup>-2</sup> und 30 cm Bodentiefe. Ein Großteil des zugeführten Wurzelkohlenstoffs wurde bereits während der Vegetationszeit mikrobiell umgebaut. Der Input an abbaubarem C ist eine entscheidende Größe für den N-Umsatz, allgemein für mikrobielle Vorgänge und folglich auch für die Verfügbarkeit von Nährstoffen in der Rhizosphäre.

Die Bodenart beeinflusste nur 1995 das Bruttowuzelwachstum von Winterweizen (Sand > Lehm). 1996 wirkten sich die Bewirtschaftungsmaßnahmen (evtl. gekoppelt mit einer kürzeren Vegetationszeit) auf das Nettowurzelsystem aus. Auffallend war zudem der auf ökologisch bewirtschafteten Flächen in der Regel höhere Wurzelumsatz bei gleichem oder auch kleinerem Nettowurzelsystem. Somit ergibt sich ein stets hoher C-Input in den Boden, der z.T. noch größer als auf den integriert bewirtschafteten Flächen war. Es ist bisher allerdings noch nicht möglich, dieses unterschiedliche Wachstumsverhalten zu erklären, vor allem auch deshalb, weil in beiden Jahren

unterschiedliche Faktoren maßgebend gewesen sein dürften. Die Vermutung liegt allerdings nahe, daß ein stark schwankendes Wasserangebot und dieses vor allem auf Sandböden einen großen Einfluß auf die Erneuerung des Wurzelsystems hat.

### Danksagung

Die Forschungsaktivitäten des FAM werden durch das Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie (BMBF 0339370) unterstützt. Die Pacht- und Betriebskosten der Versuchstation Klostersgut Scheyern trägt das Bayerische Staatsministerium für Unterricht und Kultur, Wissenschaft und Kunst.

Unser persönlicher Dank gilt den Mitarbeitern des LS für Pflanzenernährung, für eine Vielzahl kleinerer und größerer Beiträge unterschiedlichster Natur. Hervorzuheben sind Thomas Festner und seine tatkräftige Hilfe bei der Wurzelbeprobung und -aufbereitung sowie die immer einsatzbereiten HiWis. Stellvertretend für diese sei hier Sabine Bous genannt.

### Literatur

- BÖHM, W. (1979): Methods of studying root systems. *Ecolog. Studies* Vol. 33. Springer Verlag.
- NEWMAN, E. I. (1966): A method of estimating the total length of root in a sample. *J. Appl. Ecol.* 3, 139-145.
- SAUERBECK, D. und B. JOHNNEN (1976): Der Umsatz von Pflanzenwurzeln im Laufe der Vegetationsperiode und dessen Beitrag zur "Bodenatmung". *Pflanzenern. Bodenkd.* 139, 315-328.
- SCHEINOST, A., W. SINOWSKI, K. AUERSWALD, H. FLESSA, M. KAINZ und W. HÄUSLER (1993): Karte der Bodentypen der Versuchsgüter Scheyern. *Forschungsverbund Agrarökosysteme München* (Hrsg.).
- STOFFEL, S., R. GUTSER und N. CLAASSEN (1995): Wurzelwachstum in einer Agrarlandschaft des Terril-Hügellandes. *Agribiol. Res.* 48, 330-340.
- SWINNEN, J., J.A. VAN VEEN und R. MERCKX (1995): Root decay and turnover of rhizodeposits in field-grown winter wheat and spring barley estimated by  $^{14}\text{C}$  pulse-labelling. *Soil Biol. Biochem.* 27, 211-217.
- SWINNEN, J., J.A. VAN VEEN und R. MERCKX (1995): Carbon fluxes in the rhizosphere of winter-wheat and spring barley with conventional vs integrated farming. *Soil Biol. Biochem.* 27, 811-820.
- WEYKAM, S., N. CLAASSEN, R. GUTSER und B. STEINGROBE (1995): Wurzelumsatz und -entwicklung. In: M. v. LÜTZOW, J. FILSER und M. KAINZ (Hrsg.): *Jahresbericht 1994. FAM-Bericht* 5, 43-52.